

令和 2 年 6 月 27 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K06164

研究課題名(和文)MR流体を用いた可変慣性ダンパの開発

研究課題名(英文)Variable inertia damper by using magneto-rheological fluid

研究代表者

松岡 太一 (MATSUOKA, TAICHI)

明治大学・理工学部・専任准教授

研究者番号：80360189

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：機能性流体を用いて慣性モーメントだけを変化させることを目的として、フライホイール内に磁気粘性流体を充填させたボールねじ式の振動抑制装置を開発した。外部から電磁石によってフライホイール内の磁気粘性流体に強磁界を加えると、流体中の鉄微粒子が鎖状クラスタを形成してフライホイール内で凝固し、フライホイールの見かけの回転半径を変える試みである。このように、機能性流体の流動性を調整することで、慣性モーメントのみを変化させることができれば、可変慣性質量による振動遮断効果が期待できる。本装置を試作し、一自由度振動系に取り付けて周波数応答実験および地震波加振実験を行い、可変慣性質量による振動低減効果を調べた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

セミアクティブ型の制振装置は、ばね定数、減衰係数、摩擦係数などの受動要素の物理的係数を適時変化させて適切な抵抗力を発生させるものであり、その他に慣性力もあるが、あまり広く使われていない。なぜなら、物理的に質量を変化させるのが困難だからである。これらは相対加速度に比例した慣性力を生じさせ、一自由度振動系に取り付けた場合には見かけの付加質量が増えることで振動系の固有振動数を低くさせ、ある条件下では反共振点が生じて振動遮断が可能になることが分かっている。このように、固有振動数の変化と振動遮断を上手に利用すれば、優れた振動低減効果が得られると期待できる。

研究成果の概要(英文)：The authors have developed variable inertia damper by using Magneto-Rheological (MR) fluid with a long by-pass pipe in previous study. In this study a new damper, which is having variable moment of inertia by using the MR fluid, is developed. The MR fluid is filled into the flywheel, and magnetic field is applied to the flywheel by electromagnets. The moment of inertia of the flywheel is depended on own weight and a radius of gyration. If the radius of gyration is changed because ferrite particles of the MR fluid are clustered when magnetic field is applied, the damper can have a variable moment of inertia effect. To confirm validity of the vibration reduction, vibration tests of one degree-of-freedom system with the damper were carried out. From the experimental results, the peaks of response acceleration and displacement decrease about 1/2 in case with the vibration suppression device, and also cut 5% by the inertia effect. Finally, feasibility study and the effect were confirmed.

研究分野：機械力学

キーワード：振動制御 慣性質量 振動遮断 磁気粘性流体

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

制振装置は大きく分けてアクティブ型、セミアクティブ型、パッシブ型の三種類がある。その内、セミアクティブ型の制振装置は、ばね定数、減衰係数、摩擦係数などの受動要素の物理的係数を適時変化させて適切な抵抗力を発生させるものであり、アクティブ型に比べて比較的安価で安全性に優れ、かつパッシブ型に比べて制振性能が優れているのが特長である。受動要素としてはこれらの他に慣性力もあるが、あまり広く使われていない。なぜなら、負剛性を生じさせ不安定になることに加えて、物理的に質量を変化させるのが困難だからである。これまでに可変慣性力をもつ装置として、慣性モーメントや電気分岐回路等を用いたものがある。研究代表者らも、磁気粘性流体を細くて長いバイパス管に通して磁界の強弱によって流体の慣性質量効果を可変させる装置や、無段変速装置を用いて連続的に慣性モーメントを変化させることで可変慣性質量をもつ振動抑制装置を開発し、それらの実現可能性と振動抑制性能を確かめた。これらは相対加速度に比例した慣性力を生じさせ、一自由度振動系に取り付けた場合には見かけの付加質量が増えることで振動系の固有振動数を低くさせる効果に加え、ある条件下では反共振点が生じて振動遮断が可能になることが分かっている。このように、固有振動数の変化と振動遮断を上手に利用すれば、優れた振動低減効果が得られると期待できる。既報では磁気粘性流体のせん断降伏応力や、トルク伝達による摩擦力が慣性力に比べて大きく、振動低減効果が妨げられるという欠点があった。

2. 研究の目的

本研究課題では、機能性流体を用いて慣性モーメントだけを変化させることを目的として、フライホイール内に磁気粘性流体を充填させたボールねじ式の振動抑制装置を開発した(相澤, 松岡, 2019)。外部から電磁石によってフライホイール内の磁気粘性流体に強磁界を加えると、流体内の鉄微粒子が鎖状クラスタを形成してフライホイール内で凝固し、フライホイールの見かけの回転半径を変える試みである。このように、機能性流体の流動性を調整することで、慣性モーメントのみを変化させることができれば、可変慣性質量による振動遮断効果が期待できる。本装置を試作し、その抵抗力特性を実験と理論によって確認した。次に、本装置をばねと質点で構成される一自由度振動系に取り付けて周波数応答実験および地震波加振実験を行い、可変慣性質量による振動低減効果を調べた。

3. 研究の方法

本研究課題で開発した振動抑制装置の構造を図1に示す。本装置は、ボールねじ、ベアリング、フライホイール、電磁石、ロッドエンドから構成されている。ロッドエンドの並進運動をボールねじ機構によってねじ軸の回転運動に変える。ボールねじの回転速度が速くなった際に、流体の遠心力による影響が生じてしまわないように、ボールねじのリードは比較的大きい20 mmのものを用いた。ねじ軸端にはポリカーボネート製の中空状のフライホイールが取り付けられている。その内部には磁気粘性流体(MR流体)が封入されている。フライホイールの外側には四個の電磁石が取り付けられており、フライホイールの外縁との間に1 mm程の空隙がある。電磁石のコイルに電流を加えて磁界が発生すると、フライホイール内のMR流体の鉄微粒子が鎖状クラスタを形成し、強磁界にあるフライホイール内縁部に凝固する。磁界が発生しない時はMR流体が自由に運動できるため、フライホイールの運動に影響を及ぼさない。したがって、フライホイール全体の回転半径が、磁界を加えていない時に比べて磁界を加えた時に外側に移動することで、見かけの慣性モーメントを変化させる仕組みである。

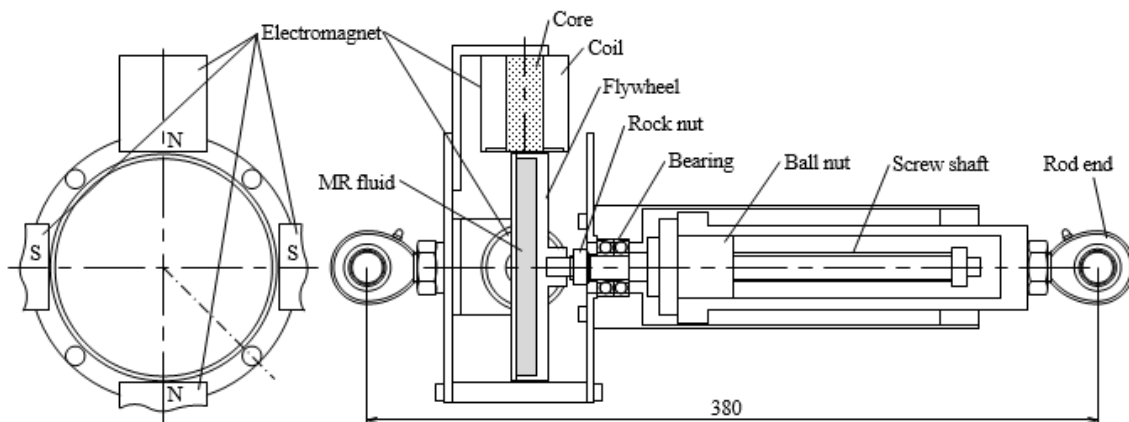


図1

4. 研究成果

可変慣性力を確かめるために、試作した振動抑制装置の抵抗力特性を調べる実験を行った。実験は、本装置を電気サーボ疲労試験機に取り付けて、強制的に正弦波状変位を与えたときの荷重と変位を測定した。振幅を10 mm、振動数を0.5~3 Hzの六通り、各電磁石に加える電流を0、

0.5, 1, 1.5 A の四通り, フライホール内に封入される MR 流体の充填率は, 容積比で 50, 75, 100 % の三通りに変えて行ったが, ここでは 100 % の場合のみ示す.

実験結果を理論値と併せて図 2 に示す. 電流 0 A および 1.5 A 時の理論的な慣性力を図中の黒および赤の一点鎖線で示す. 図 2 から, 左肩上がりの直線で示される慣性効果が生じていること, また電流によってその傾きが若干ではあるが変化していることが分かる. 2.5 Hz 以上の振動数において, 振幅中央 (零変位) における縦軸の切片において抵抗力が少し膨らんでいる. これは, 凝固した MR 流体が円板の回転と共に回転していると考えられる. 電流が 0 A 時は図の傾きから等価慣性接続質量の大きさは 50 kg となり, 0.5 A 時は 60 kg, 1.0 A 時は 63 kg, 1.5 A 時は 66 kg と最大で 30 % の増加となった. この結果から, 電磁石の電流と慣性質量の関係を図 3 に表す. 僅かながら, 電流に比例して等価慣性接続質量が増えていることが分かる. また, 摩擦力は 20 N 程度であることが分かった.

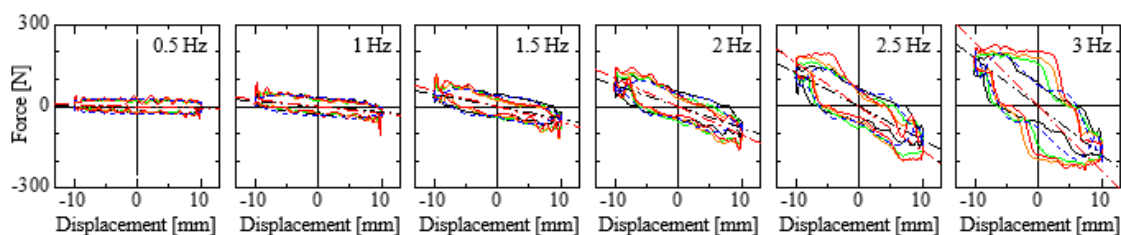


図 2

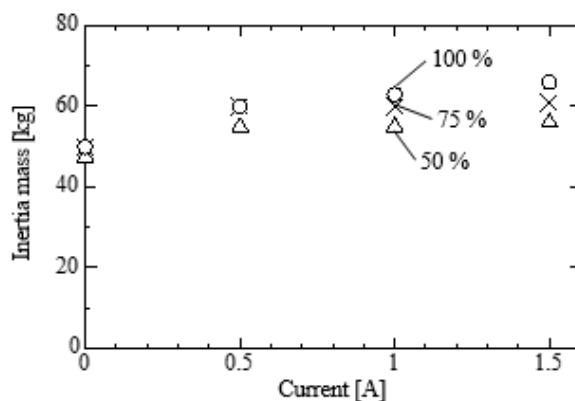


図 3

本装置の振動低減効果を確認するために, 一自由度振動系を用いた周波数応答実験および地震波加振実験を行った. 図 4 に示されるように, 振動台上にコイルばねと剛体板の質点から成る一自由度系を設置し, それに本装置を取り付けて振動台を単軸方向に加振した. 剛体板はリニアブッシュが取り付けられており, 二本のロッド上を滑らかに動く. 振動系の固有振動数を 2 Hz 付近に調整するために, 予め 40.3 kg の重錘が板に搭載されている. 加速度はサーボ型加速度計を, 変位はレーザー変位計を用いて測定した. 正弦波は振動数を 0.5~4 Hz まで変化させ, 振幅を共振点近傍で約 1 mm, それ以外では約 10 mm に設定した. 地震波は, 兵庫県南部地震 (1995) 神戸海洋気象台の南北成分を最大加速度 3 m/s^2 に, インペリアルバレー地震 (1940) エルセントロの南北成分を同 4.5 m/s^2 に, および新潟地震 (1964) 南北成分を同 3.3 m/s^2 に基準化したものを用いた. MR 流体の充填率は 100 % とし, 電磁石の電流は 0 A 時すなわち MR 流体の慣性質量の影響がない場合 ($m_0=50 \text{ kg}$), および 1.5 A 時すなわち MR 流体の慣性質量が最大 (同 66 kg) の場合の二通りとした. 減衰については自由減衰振動の波形から振動系全体の内部減衰を同定し, 減衰比は 0.022 であった.

各地震波入力時の質点の最大応答値 (加速度および質点と基礎の相対変位) の実験結果を, 計算結果と併せて表 1 に示す. なお, 振動抑制装置取付時の計算には摩擦力を 20 N として加えている. これらの結果から, 本装置を取り付けた場合, 電磁石の電流が 0 A 時に比べて, 電流が 1.5 A 時では最大加速度は 5~10 % 程度少なくなることが分かる. 相対変位については, 神戸波および新潟波入力時では低減していないものの, エルセントロ波入力時では 10 % 程度少なくなっている. これは, エルセントロ波の卓越振動数が神戸波や新潟波に比べて高い 2 Hz 近傍にあり, 振動抑制装置の慣性質量が増えたことによって振動系の反共振点が地震波の卓越振動数に近づいたことによるものと考えられる. また, 本装置を取り付けていない場合に比べて, 取付時では最大加速度は $1/2 \sim 1/3$, 最大相対変位は $1/2 \sim 2/3$ 程度低減していることが分かる. 実験結果と計算結果は, 応答波形の傾向と最大値が概ね合っていることから計算の有効性が確かめられた.

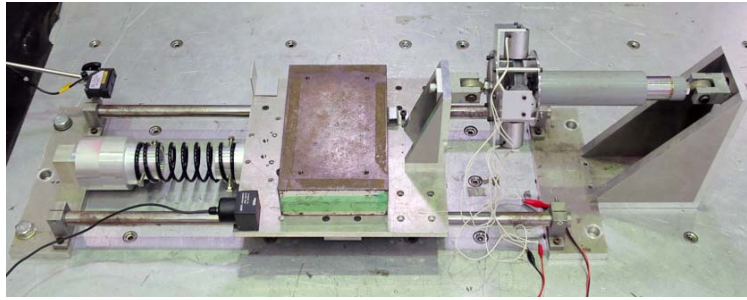


図 4

表 1

		JMA Kobe 3 m/s ²		E1 Centro 4.5 m/s ²		Niigata 3.3 m/s ²	
		Acc. [m/s ²]	Disp. [mm]	Acc. [m/s ²]	Disp. [mm]	Acc. [m/s ²]	Disp. [mm]
Without VSD	Exp.	7.90	45.0	14.7	77.5	7.84	43.4
	Cal.	7.03	43.8	13.5	85.3	6.69	41.7
With VSD in case of 0 A	Exp.	3.76	31.5	6.16	47.5	3.15	26.3
	Cal.	3.58	35.7	5.29	53.2	2.97	26.1
With VSD in case of 1.5 A	Exp.	3.63	36.2	6.53	43.7	2.97	28.4
	Cal.	3.47	38.9	4.40	47.8	2.66	25.7

<引用文献>

- ① 松岡太一, 相澤隆登, 磁気粘性流体を用いた可変慣性モーメント型振動抑制装置, 日本機械学会論文集, Vol. 86, No. 886 (2020), DOI: 10.1299/transjsme.19-00405.
- ② 相澤隆登, 松岡太一, 慣性モーメント切替型制振装置の応答性能に関する研究, 日本機械学会関東学生会第 59 回学生員卒業研究発表講演会, No. 109 (2020. 3. 16).
- ③ 相澤隆登, 松岡太一, 円板内の磁気粘性流体によって可変慣性モーメントをもつ制振装置, 日本機械学会 D&D2019, No. 218 (2019. 8. 28)
- ④ 松岡太一, 無段変速機を用いた可変慣性質量をもつ振動抑制装置, 日本機械学会論文集, Vol. 83, No. 854 (2017-10), p. 17-00292.
- ⑤ Taichi Matsuoka, Variable inertia damper using a flywheel filled by MR fluid, ASME, PVP-2019, No. 93093 (2019-7), 6p.
- ⑥ Taichi Matsuoka, Naoto Abe, Kazuhiko Hiramoto, Katsuaki Sunakoda, Variable inertia damper using MR fluid, Part II: Improvement of inertia effect, ASME, PVP-2017, No. 65922 (2017-7), 5p.
- ⑦ Taichi Matsuoka, Kazuhiko Hiramoto, Katsuaki Sunakoda, Naoto Abe, Pei-Yang Lin, Fluid inertia damper using MR fluid with a long spiral bypass pipe, Bulletin of the JSME, Mechanical Engineering Journal, Vol. 3, No. 2 (2016-4), p. 15-00731.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Taichi Matsuoka	4. 巻 5
2. 論文標題 Electromagnetic damper using brushless direct drive DC motor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 18-00307
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/mej.18-00307	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Taichi Matsuoka	4. 巻 8
2. 論文標題 Electromagnetic Damper Using Brushless DC Motor With Capacitance	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ASME 2018 Pressure Vessels and Piping Conference	6. 最初と最後の頁 V008T08A030
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1115/PVP2018-84021	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 松岡 太一	4. 巻 83
2. 論文標題 無段変速機を用いた可変慣性質量をもつ振動抑制装置	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 日本機械学会論文集	6. 最初と最後の頁 17-00292
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1299/transjsme.17-00292	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hiramoto Kazuhiko、Matsuoka Taichi、Sunakoda Katsuaki	4. 巻 2018
2. 論文標題 Adaptive Gain Scheduled Semiactive Vibration Control Using a Neural Network	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Shock and Vibration	6. 最初と最後の頁 1~19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） doi.org/10.1155/2018/3762784	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Taichi Matsuoka, Kazuhiko Hiramoto, Katsuaki Sunakoda, Naoto Abe, Pei-Yang Lin	4. 巻 3
2. 論文標題 Fluid inertia damper using MR fluid with a long spiral bypass pipe	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Mechanical Engineering Journal	6. 最初と最後の頁 15-00731
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/mej.15-00731	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

[学会発表] 計10件(うち招待講演 0件/うち国際学会 4件)

1. 発表者名 松岡太一, 大亦絢一郎
2. 発表標題 せん断・モーメント型動吸振器によるはりの振動抑制
3. 学会等名 日本機械学会D&D2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松岡太一, 阿部直人
2. 発表標題 ブラシレスDCモータとコンデンサを用いた電磁抵抗型ダンパ
3. 学会等名 日本機械学会2018年度年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Taichi Matsuoka
2. 発表標題 Variable inertia damper using MR fluid, Part II: Improvement of inertia effect
3. 学会等名 ASME PVP-2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kazuhiko Hiramoto, Taichi Matsuoka, Katsuaki Sunakoda
2. 発表標題 Design method of semi-active control systems minimizing the error between the controlled signals of the semi-active and its reference active control systems
3. 学会等名 ASME PVP-2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 松岡太一
2. 発表標題 慣性接続質量をもつ動吸振器の最適化
3. 学会等名 日本機械学会D&D2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Taichi Matsuoka, Kazuhiko Hiramoto, Katsuaki Sunakoda, Naoto Abe
2. 発表標題 Variable inertia damper using MR fluid
3. 学会等名 ASME Pressure Vessels and Piping Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kazuhiko Hiramoto, Taichi Matsuoka, Katsuaki Sunakoda
2. 発表標題 Scheduling strategy of multiple semi-active controllers with information on the disturbance and the structural response
3. 学会等名 ASME Pressure Vessels and Piping Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松岡太一, 平元和彦, 砂子田勝昭, 阿部直人
2. 発表標題 磁気粘性流体を用いた可変慣性ダンパ
3. 学会等名 日本機械学会Dynamics & Design Conference 2016
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松岡太一, 三ツ井賢人, 大亦絢一郎
2. 発表標題 コイルばねを用いた小型免震テーブルの研究(ローラーベアリングと直線溝を用いた場合)
3. 学会等名 日本機械学会2016年度年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 松岡太一, 花岡良一, 高本清
2. 発表標題 菜種エステルを用いたMR流体ダンパ
3. 学会等名 日本機械学会2016年度年次大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	平元 和彦 (HIRAMOTO KAZUHIKO) (00261652)	新潟大学・自然科学系・教授 (13101)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	阿部 直人 (ABE NAOTO) (10202673)	明治大学・理工学部・専任教授 (32682)	